

## EL PARADIGMA CRADLE TO CRADLE EN EL SECTOR QUÍMICO Y MEDIO AMBIENTAL

En la actualidad la sostenibilidad se extiende sobre todos los sectores y ámbitos relacionados con la sociedad; por supuesto, la industria es uno de ellos. A la hora de plantear y gestionar proyectos sostenibles, es necesario actuar integrando determinados aspectos que conlleven a los resultados óptimos exigidos o que sencillamente, han sido definidos en el objetivo del proyecto. Son innumerables las estrategias, metodologías y técnicas con las que se lleva a la práctica el desarrollo sostenible. Cradle to Cradle es un nuevo paradigma que integra las tres dimensiones de la sostenibilidad, introduciendo los proyectos en un marco de trabajo consecuente con el medio ambiente, adaptado a la sociedad y viable técnica y económicamente.

- ▣ Antonio García Salguero. Escuela Politécnica Superior de Sevilla
- ▣ María Estela Peralta Álvarez. Escuela Politécnica Superior de Sevilla
- ▣ Antonio Córdoba Roldán. Escuela Politécnica Superior de Sevilla



## INTRODUCCIÓN

El despliegue de la sostenibilidad sobre los actuales ámbitos industriales está alcanzando resultados ampliamente satisfactorios. Apoyada en los nuevos entornos de investigación y desarrollo, la ecología industrial gestiona un nuevo marco de trabajo, donde la ecoefectividad se dispone en los proyectos desde la ecoinnovación, consiguiendo soluciones de calidad en aspectos económicos, sociales y medioambientales.

Este enfoque revolucionario, encabezado por la articulación de los tres vectores de sostenibilidad (dimensiones 3E), es el que ofrece el paradigma Cradle to Cradle (C2C) [1]. Basado en la búsqueda de valor, actúa en todo el ciclo de vida de productos y sistemas industriales obteniendo soluciones ecointeligentes. Plantea una nueva metodología que ayuda a obtener productos que satisfagan las necesidades del usuario, de la industria y las exigencias actuales del problema ambiental. Busca el cierre de los ciclos sobre la tecnosfera y la naturaleza sin sobrepasar su capacidad de acogida. Hasta la fecha, sólo se ha definido como paradigma sin plantearse como modelo que estructure el proceso de diseño y desarrollo de productos. Por ello, bajo este nuevo e innovador pensamiento, surge el Modelo Genómico de Ecoinnovación y Ecodiseño (MGE2), como formulación de una propuesta metodológica de diseño concreta y práctica de inspiración biónica para el diseño de productos y sistemas industriales ecocompatibles con el medioambiente [2], integrándolos en el marco estándar de las normas ISO de la serie 14000, ecodiseño, ecoetiquetado y certificación

C2C, soportado por los entornos de ingeniería concurrente y PLM (Product Life Management) teniendo en cuenta una revisión constante a partir del Análisis de Ciclo de Vida.

## DE CUNA A LA CUNA

A partir de la revolución industrial, satisfacer las necesidades de la población encabezó cualquier objetivo de la industria. Descubierta el impacto que el sector industrial estaba causando sobre el planeta, el cambio en la definición de sostenibilidad se ha visto afectado sólo en un aspecto: las generaciones futuras también están implícitas en el proceso.

En sus inicios, la industria beneficiada por el auge de la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías, incrementó su producción incontrolada a medida que la sociedad y la globalización prosperaban, aumentando la demanda de productos y sistemas industriales. Para soportar el ritmo de esta masificación, se abandonó la idea de compatibilizar la actividad con el avance natural del medio ambiente que a lo largo de los años, se ha visto perjudicado por todos estos acontecimientos.

A medida que la situación se agravaba, se tomó conciencia del impacto que se estaba causando en el planeta. Nace una nueva concepción de industria, preocupada no sólo por satisfacer las necesidades de sus clientes, sino atendiendo también a aquellas que el medio ambiente estaba reclamando. Desde los años 90, gobiernos, ecologistas, administraciones y otros grupos definían una tendencia de cambio llevada a la práctica con soluciones concretas

Figura 1. Analogía entre los ciclos de vida de un ser vivo y producto.



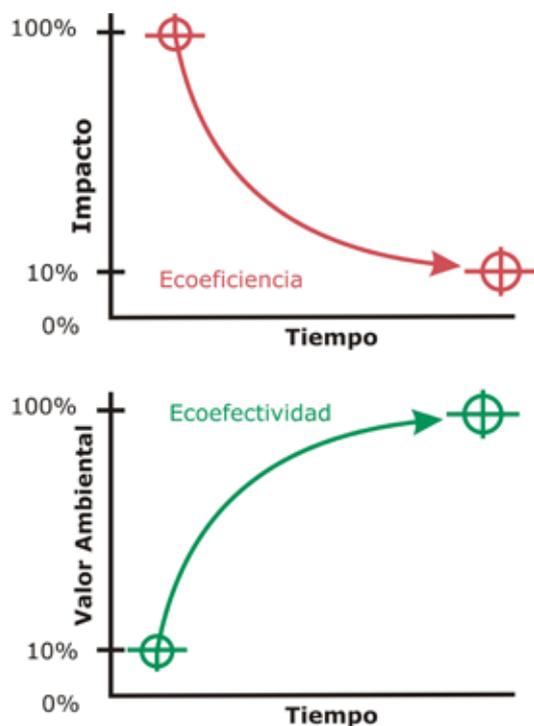


Figura 2. Balance de resultados ecoeficaces y ecoefectivos. [4]

dirigidas, no a erradicar el problema, sino encabezadas por soluciones que sólo lo ralentizaban. Se introducen las primeras legislaciones y se empezaron a implantar las tecnologías de fin de tubo, con las que se controlaba (o combatía) la contaminación, minimizando residuos al aire, agua y suelo. Con el desarrollo de la investigación en temas sostenibles, se comprobó que la optimización era el camino preferente, instaurándose poco a poco la idea de ecoeficiencia, donde la prevención se antepone a la eliminación de los contaminantes. Por ello se consiguió minimizar el uso de materiales y recursos en los procesos de fabricación desde **la cuna hasta la tumba** (es decir, desde la extracción y transformación de la materia prima, hasta el fin de vida de los productos).

**De la cuna a la cuna** pretende unir la última etapa pendiente en la industria: el fin de vida del producto debe estar ligado a la extracción de materia prima, cerrando el ciclo natural y creando valor basándose en la ecoefectividad. La diferencia entre las dos vertientes reside en los términos de ecoeficiencia y ecoefectividad; mientras que la solución más óptima de una industria basada en la ecoeficiencia (parte superior de la figura 2) puede alcanzar tan sólo un 10% de impacto, aquella que centre sus acciones en la ecoefectividad (parte inferior de la figura 2) conseguirá crear un 100 % de valor ambiental eliminando el impacto.

Un sistema industrial 3E (ecológico, económico y social) basado en C2C[3], es la alternativa al modelo actual; los conceptos interactúan creando valor; los proyectos se adoptan con una perspectiva holística de su ciclo de vida; se concibe una arquitectura de producto y sistema asociados integrados armónicamente con los flujos de materia, sustancia y energía del ecosistema natural (naturaleza) y del ecosistema técnico (tecnosfera) y se alcanza el objetivo de la economía del bienestar, minimizando y resolviendo los problemas ambientales generados desde el inicio de la revolución industrial.

El paradigma C2C se inicia con la publicación en 2002 [1], por los autores Michael Braungart y William McDonough, del libro *Cradle to Cradle: rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. De carácter bioinspirado, este modelo de ecoefectividad comparte tres características comunes con todos los sistemas sanos de la naturaleza:

- 1. Residuo igual a alimento** (retroalimentación sistémica). Las salidas consideradas desecho y basura para unos, son entradas de recursos y alimentos para otros. De este modo se pone de manifiesto cómo las actividades, procesos y etapas del ciclo de vida de cada organismo involucrado en el sistema, participan en la salud del conjunto. Con esta perspectiva, se mantiene y mejora la calidad de los recursos y se aumenta la productividad a través de los **metabolismos cíclicos**.
- 2. Uso de energías renovables.** Los entes naturales utilizan la luz del sol como fuente de energía para generar sus propios recursos; este sistema debe servir de "inspiración" para el modelo energético que la industria debe diseñar.
- 3. Respetar y fomentar la diversidad:** la diversidad natural favorece la resiliencia y robustez de cada ente y de su sistema asociado, garantizando la seguridad en un mundo cambiante y generando valor en cada etapa. Por ello, los productos deben diseñarse basados en los sistemas naturales, sin impactos sobre el medio ambiente, celebrando y potenciando la diversidad natural y técnica. Se ha de prestar especial atención a las especies claves de los ecosistemas.

## SISTEMAS INTELIGENTES DE PRODUCTOS Y PLANTAS INDUSTRIALES. ECOINTELIGENCIA

Uno de los principios que articulan el paradigma C2C es la Ecointeligencia o Inteligencia Ecológica. Este concepto permite diseñar Sistemas Inteligentes de Productos y Sistemas Industriales, con una



capacidad de acogida positiva por los ecosistemas asociados a su ciclo de vida, de forma que sus interacciones con el medio ambiente y con los stakeholders sean ecocompatibles, regenerando el valor perdido en el planeta.

La base se encuentra en la metáfora del ser vivo como producto, creando semejanza entre los flujos industriales y los naturales. Para ello, la concepción de un nuevo producto debe basarse en flujos de nutrientes centrados en *sistemas cerrados en materia (metabolismos cíclicos)* y *abiertos en energía*, como es el caso del planeta tierra.

**1. Con respecto a los metabolismos cíclicos** (close loop cycle) [4], los Sistemas Inteligentes de Productos y Plantas Industriales tienen dos tipos de flujos cerrados de materia: biológico, asociado a la naturasfera y técnico, asociado a la tecnosfera, figura 3.

**2. Metabolismos Biológicos.** Los materiales del fin de la vida útil clasificados como alimento biológico fluyen de forma continua a través de ciclos sobre la naturasfera, donde la naturaleza “reabsorbe” todas las sustancias pertenecientes a ella, siendo integrados en los ciclos biogeoquímicos. Este conjunto de nutrientes son metabolizados en la naturasfera.

**3. Metabolismos Técnicos:** este se presenta dentro del dominio de la tecnosfera o sistema industrial encargado de la extracción, transformación, producción y recuperación de los nutrientes técnicos.



Figura 3. Metabolismos cíclicos de la tecnosfera y la naturasfera

cos del fin de la vida útil de los productos o plantas industriales, son aquellos procesos donde están implicados los materiales que no pueden ser biodegradados por la naturaleza. Intervienen dos tipos de nutrientes técnicos: los **suprarreciclados**, cuyo flujo continuo no implica pérdida de calidad (por ejemplo, el aluminio o el vidrio) y que son recuperables en su totalidad. Y los **infrarreciclados**, que constituyen las entradas de nutrientes sintetizados por el ser humano; tras

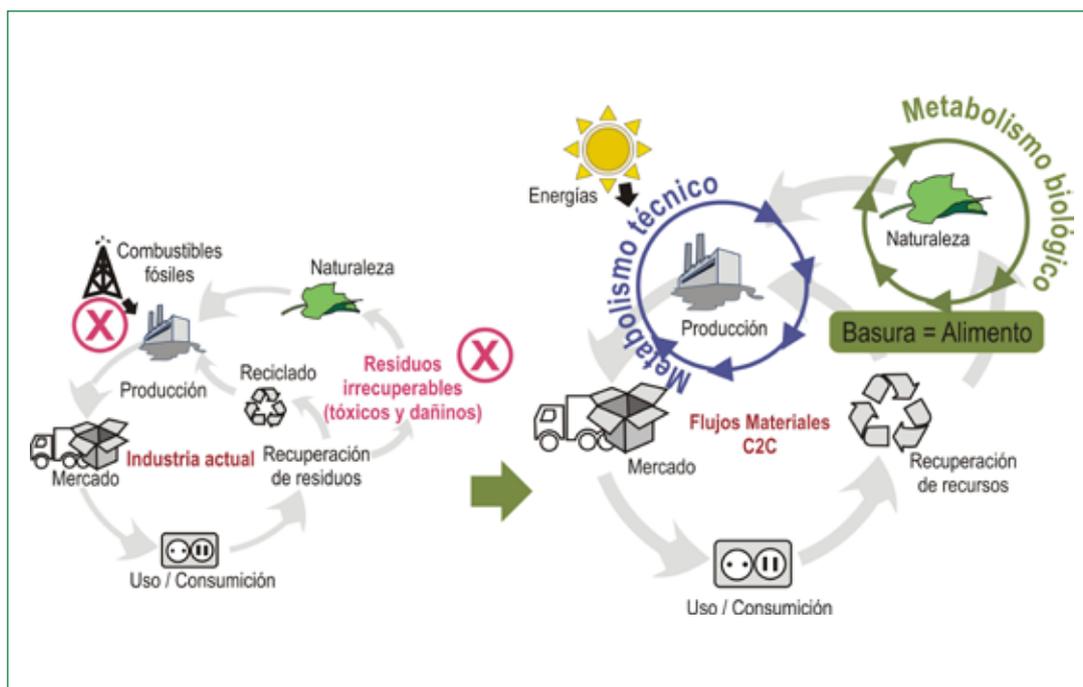


Figura 4. Procesos cíclicos de la industria actual y su evolución a C2C.

su uso pierden sus propiedades iniciales, aunque pueden ser reciclados con una pérdida de calidad o destinados a la revalorización de energía.

El planeta (tecnosfera y naturalesfera) constituye un sistema abierto de energía, lo que determina que las rutas metabólicas antes mencionadas, por analogía a los procesos naturales, deben ser sostenidas por energías renovables y no mediante el consumo de recursos fósiles, como se muestra en la figura 4.

## ESTRATEGIA FRACTAL DE ECOINNOVACIÓN: YACIMINETO DEL VALOR Y OPORTUNIDADES

Los tres pilares fundamentales en los que se pueden basar los proyectos industriales están caracterizados por la *perspectiva económica* del negocio asociado a la rentabilidad, la *visión de la equidad*, con atención a los segmentos de mercado de grupos desfavorecidos y creación de riqueza social y la *vertiente ecológica* de compatibilización con el medioambiente. Si los tres conceptos se articulan simultáneamente agrupados en un triángulo fractal [3], como aparecen en la Figura 5, interactuarán dinámicamente en el proceso de búsqueda de soluciones, obteniendo para ellas una triple cuenta de resultados econinnovadores. Juntos, definen la estrategia 3E (economía, equidad y ecología) convir-

tiéndose en las tres dimensiones fundamentales de la sostenibilidad.

Esta nueva perspectiva asienta el proceso de diseño y desarrollo de productos y sistemas industriales dentro la ecoinnovación, gracias a la aportación de los medios necesarios para entender y medir el progreso sostenible, creando valor constante y potenciando la calidad. Fomenta el comercio seguro y ayuda a diseñar y gestionar las etapas, los procesos, los materiales y las sustancias desde el punto de vista de la salud humana y del planeta, haciendo que los usuarios obtengan servicios sin responsabilidad material (la industria reutiliza la materia al recuperar el producto después de su uso).

Uno de los principios que articulan el paradigma C2C es la Ecointeligencia o Inteligencia Ecológica. Este concepto permite diseñar Sistemas Inteligentes de Productos y Sistemas Industriales, con una capacidad de acogida positiva por los ecosistemas asociados a su ciclo de vida, de forma que sus interacciones con el medio ambiente y con los stakeholders sean ecocompatibles, regenerando el valor perdido en el planeta

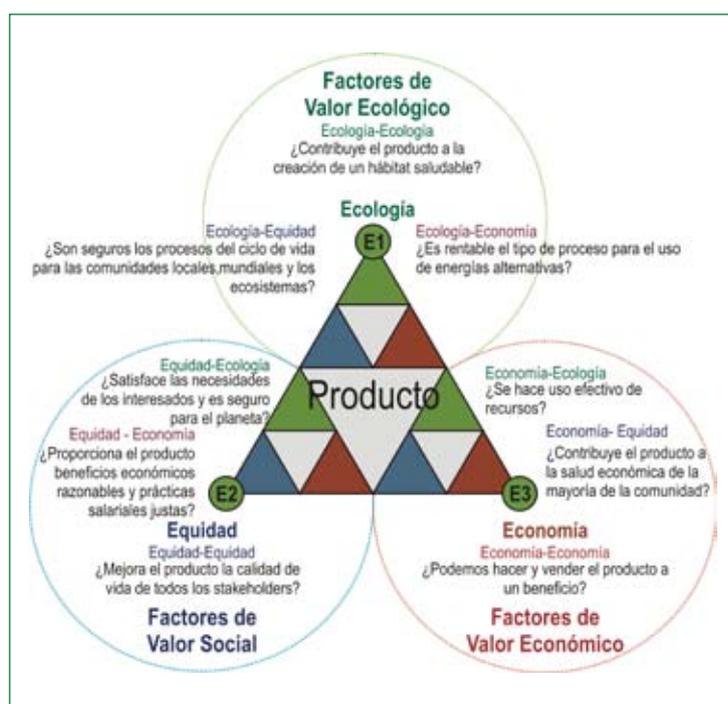


Figura 5. Despliegue de valor en la estrategia 3E de la sostenibilidad. Adaptación [5]



## REQUISITOS DE SOSTENIBILIDAD PARA PRODUCTOS Y SISTEMAS INDUSTRIALES BAJO C2C

Para llevar a la práctica las propuestas del paradigma C2C, los autores ofrecen una serie de criterios orientados a la evaluación y seguimiento de todo el proceso de diseño y desarrollo, donde se establecen los siguientes requisitos, que serán reconocidos posteriormente con las certificaciones de nivel platino, oro, plata ó básico; las exigencias de la misma para poder obtener la certificación de productos o plantas industriales son:

1. Materiales para la Salud: diseñar consiguiendo flujos de nutrientes con metabolismos cíclicos, con materiales seguros y saludables.
2. Reutilización: con la intención de eliminar el concepto de residuo, C2C fomenta el reciclado del producto o sistema para usos futuros y alienta al diseño con materiales reciclados o renovables.
3. Uso de Energías Renovables: la fabricación debe ir más allá de la eficiencia energética, utilizando como fuentes principales los recursos renovables (solar, eólica, geotérmica y otras).
4. Gestión del Agua: se debe operar respetando la necesidad de tener agua limpia, devolviéndola al medio en las condiciones en las que se tomó.
5. Responsabilidad Social: el producto debe respetar la salud, la seguridad y los derechos de las personas y el planeta.

Existen otros programas estandarizados de etiquetado ecológico. Las normas ISO [6] otorgan las ecoetiquetas de tipo I (UNE-EN ISO 14024:2001), tipo II (UNE-EN ISO14021:2002) y tipo III (UNE-EN ISO 14025:2007) según los objetivos sostenibles conseguidos en los sistemas y verifican y reconocen las buenas prácticas medioambientales de la industria.



Figura 6. Certificación C2C



Figura 7. Ecoetiqueta UE

## MODELO GENÓMICO DE ECOINNOVACIÓN Y ECODISEÑO

Durante las últimas décadas la industria ha intentado remediar la actuación negativa que han causado sus acciones sobre el planeta. Gracias a las actividades de I+D [7], se han creado metodologías y técnicas compuestas por una serie de etapas que guían los proyectos con el inconveniente de no haber sido concebidos desde una perspectiva bioinspirada, (basándose en la sostenibilidad de los ciclos naturales desde la perspectiva sistémica y ecoefectiva que propugna el enfoque C2C).

Tomando como origen el paradigma C2C, al considerarlo como la perspectiva más significativa dentro de la ecoinnovación, pero sin todavía una metodología clara que permita llevar a la práctica sus principios e intereses, se crea el Modelo Genómico de Ecoinnovación y Ecodiseño MGE2[8] en la EPS de Sevilla, con el objetivo de realizar un marco de trabajo que permita diseñar productos y sistemas con ciclos de vida sostenibles e inspirados en los referentes naturales. Este modelo está constituido por las técnicas básicas de ecodiseño, orientadas a la ecoefectividad y apoyadas en estrategias de diseño biomimético, dentro de los ámbitos más innovadores de la investigación y actuación profesional de ecoindustria y ecología industrial. Asentado en las normas actuales sobre gestión ambiental y apoyado en el Análisis del Ciclo de Vida, introduce en los productos y sistemas industriales los criterios básicos necesarios con los cuales pueden ser incluidos en cualquiera de los programas de etiquetado ecológico actual [9].

Se basa en la idea de introducir en el proceso de diseño de los productos y plantas industriales, una serie de características o “genes” que determinarán su sostenibilidad a través de las siguientes dimensiones:

- 1. Dimensión estática** (autocompatible) que define al producto como *autopoyético* (auto-regenerable o que se hace a sí mismo), *ecocompatible* (asimilable y con capacidad de ser acogida por el medio receptor), *metabolizable* (cuyos flujos de sustancias y materiales sean concebidos como ciclos cerrados) y *sistémico* (considerando los distintos escenarios proyectuales, sus interacciones cíclicas y los flujos metabólicos asociados a su ciclo de vida)
- 2. Dimensión dinámica**, que determina las variaciones en las distintas generaciones de productos, dotándolos de carácter evolutivo (resiliencia y robustez). Compuesta por dos grupos, es la *selección natural* (presión ambiental) la que se encarga, a partir de la interacción de las características internas del producto con el medio ambiente, de definir su factor de “aprendizaje” y la *recombinación* y *mutaciones* que simulan los procesos aleatorios de la transmisión genética entre generaciones de productos.

Para conseguir incorporar todas estas características en el proceso de diseño y desarrollo, las etapas deben formularse de forma que interactúen entre sí, estableciendo un consenso de decisiones para todo el ciclo de vida. Para ello, el modelo se ha dividido en *fenotipo* y *genotipo*, términos tomados de la genética para describir la analogía entre “ente natural” y “producto o planta industrial”. De esta manera, el diseño y desarrollo se convierte en el proceso de fijación del genotípico (donde se determinan los “genes” o características internas) y siendo el fenotipo el resultado final de la solución por la interacción del producto o planta industrial con su sistema asociado (mercado, normativa, competencia).

## LA INDUSTRIA QUÍMICA Y MEDIOAMBIENTAL

Los ámbitos de la industria química en los que el paradigma cradle to cradle tiene proyección, abarcan *la química para la industria y el consumo final* (encargada de la sintetización de pinturas, tintas, esmaltes y barnices; detergentes, jabones y productos de limpieza; perfumería y cosmética; otros productos químicos), *la química de la salud humana, animal y vegetal* (productora de fitosanitarios, materias primas farmacéuticas, especialidades farmacéuticas y especialidades zoonosanitarias) y *la química básica* (encargada de los gases industriales colorantes y pigmentos, de la química inorgánica y orgánica, de producción de abonos, materias primas plásticas, caucho y fibras químicas [10]).

Por lo que se refiere a la industria medioambiental o ecoindustria, es un sector emergente, en el cual se lleva a cabo el desarrollo, la concepción y gestión de plantas industriales, procesos, productos y sistemas de gestión respetuosos con el medio ambiente [11]

## Industria medioambiental – Ecoindustria

La industria medioambiental y la ecoindustria quedan caracterizadas con las siguientes definiciones [7]:

- **Ecoindustria** [12]: aquella cuyas actividades producen bienes y servicios para medir, prevenir, limitar, minimizar o corregir los daños medioambientales sobre agua, aire, suelo, así como también los problemas relativos a los residuos, ruido y ecosistemas. Se incluyen igualmente aquellas tecnologías, productos y servicios limpios que reducen el riesgo medioambiental y minimizan la contaminación y la utilización de los recursos.

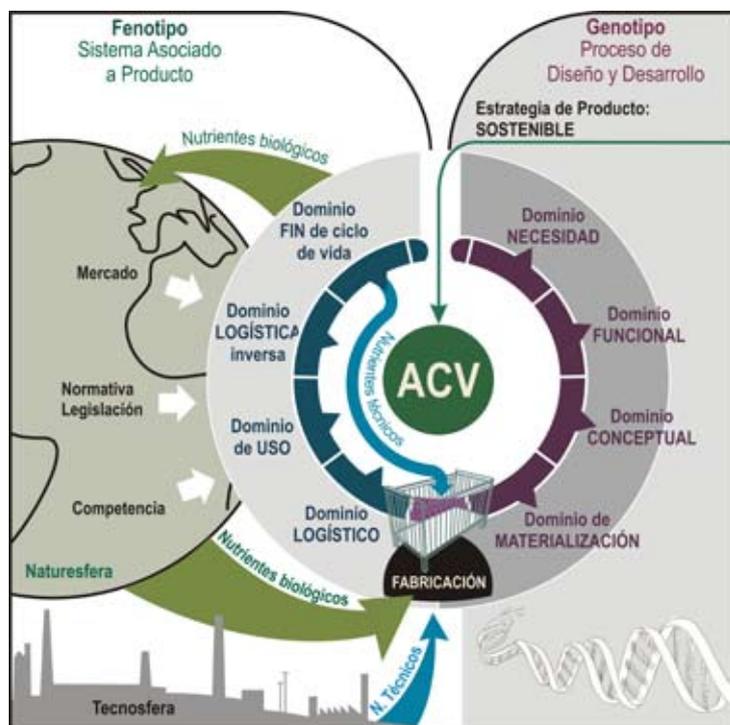


Figura 8. Modelo Genómico de Ecoinnovación y Ecodiseño MGE2.



- **Industria medioambiental** [13]: combina la explotación de recursos con la compatibilidad medioambiental, dividiendo su actividad en cuatro grupos, con el objetivo común de causar un impacto favorable sobre el medio ambiente:

1. **Fabricación medioambiental:** las empresas que diseñan y fabrican infraestructuras, equipos, sistemas y productos de protección que previenen el impacto ambiental.
2. **Tratamiento residuos y efluentes:** las empresas que se encargan del control y prevención del impacto.
3. **Gestión material:** las empresas que gestionan los residuos.
4. **Gestión y calidad ambiental:** consultorías que realizan tareas de asesoramiento en materia medioambiental.

Como se desprende de la definición, para el objeto de esta actividad industrial, el paradigma cradle to cradle constituye la columna vertebral sobre la que se debiera incardinar la actividad de ingeniería.

### La industria química

La actividad industrial en el sector químico se orienta fundamentalmente al diseño de productos químicos e implementación de procesos, bajo los siguientes principios de la “química verde o sostenible” [14]:

1. Es mejor prevenir los residuos que tratarlos tras su formación.
2. Los métodos sintéticos deben conseguir la máxima incorporación de las materias primas del proceso en el producto final.
3. Usar metodologías para generar sustancias con la menor toxicidad humana y medioambiental (diseño desde la ecotoxicidad)
4. Preservar la eficacia funcional, mientras se reduce la toxicidad.
5. Reducir el uso de sustancias auxiliares (pinturas, disolventes...) y potenciar la utilización de aquellas inocuas.
6. Minimizar el consumo energético (los métodos sintéticos deben realizarse a temperatura y presión ambiente).
7. Potenciar el uso de materiales renovables.
8. Evitar derivaciones innecesarias (bloqueo de grupos, protección y desprotección, modificación temporal de procesos físicos y químicos).



Figura 9. Producto diseñado con el enfoque Cradle to Cradle.

Ecoindustria es aquella cuyas actividades producen bienes y servicios para medir, prevenir, limitar, minimizar o corregir los daños medioambientales sobre agua, aire, suelo, así como también los problemas relativos a los residuos, ruido y ecosistemas. Se incluyen igualmente tecnologías, productos y servicios limpios que reducen el riesgo medioambiental y minimizan la contaminación y la utilización de los recursos

9. Uso de reactivos catalíticos frente a los estequiométricos.
10. Diseñar productos y sustancias químicas para que al cumplir su función, se descompongan de una forma natural.
11. Inspección y observación de los procesos químicos con intención de evitar la formación de sustancias peligrosas.
12. Seleccionar adecuadamente sustancias y procesos para maximizar la seguridad (y minimizar accidentes).

Gracias a la química verde y sus doce principios, se ha impulsado la evolución de la ecoindustria a nivel global. De la toma de decisiones y método de tratamiento de impacto de forma reactiva, (controlando la contaminación una vez producida o de final de tubería) nace el **enfoque proactivo**, rechazando la suposición de que la industria inevitablemente debe destruir al menos una mínima parte del medio natural para lograr sus objetivos.

El MGE2 es adecuado para abordar todo tipo de proyectos sostenibles desde el punto de vista de la estrategia 3E, siendo una guía para el diseño inspirado en la naturaleza y con el que pueden obtenerse soluciones de calidad basadas en metabolismos cíclicos mantenidos con energías alternativas, aportándoles ecoefectividad frente a ecoeficiencia

## MODELO GENÓMICO DE ECODISEÑO Y QUÍMICA VERDE

El MGE2 es perfectamente compatible con cualquier ámbito industrial, encontrándose en posiciones favorables para los casos de la ecoindustria y el sector químico, a los que proporciona un espacio de trabajo con cuatro etapas clave:

1. **Análisis del mercado, empresa, competencia** y definición de criterios de diseño aplicables a sus sistemas industriales ecointeligentes. Todo ello compone el primer **Análisis del Ciclo de Vida** [15] del producto y su sistema asociado.
2. **Establecimiento de la estrategia de producto** atendiendo al marco paradigmático C2C y a la estrategia 3E, que integre el carácter autopoyético, metabolizable, sistémico y ecocompatible que deben ser incorporados a los sistemas industriales. La generación del conjunto de valores 3E, permite establecer los criterios que definen esta

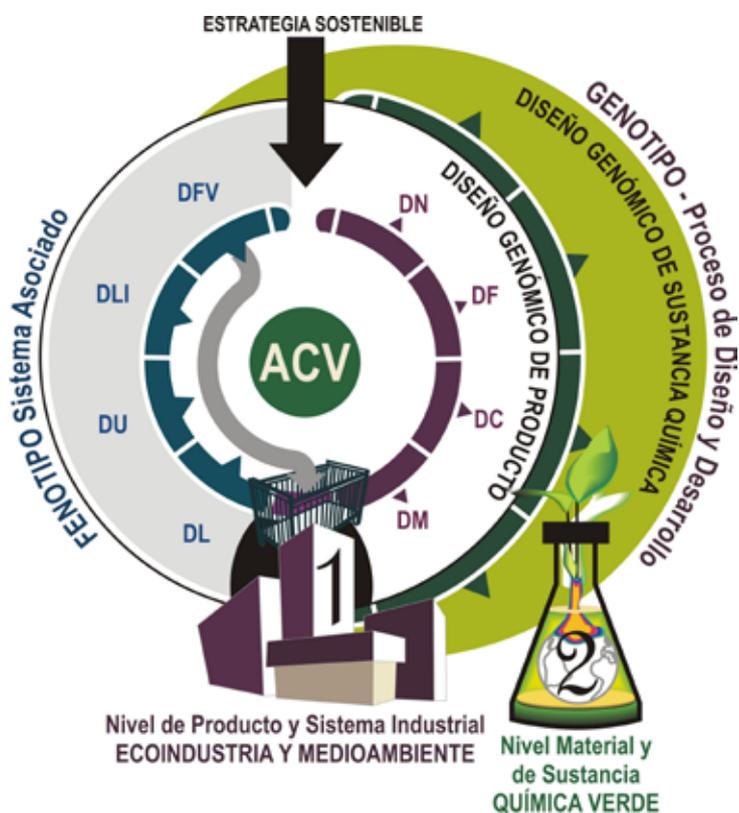


Figura 10. MGE2 para la ecoindustria y el sector químico.



estrategia, parametrizable posteriormente en técnicas y herramientas aportadas por el MGE2.

### 3. Diseño y Desarrollo Genómico de Producto.

Esta tercera etapa integra los aspectos de la ecoindustria y la química verde, como tecnología ligada al diseño de sistemas y procesos. Como se muestra en la figura 9, está dividida a su vez en dos niveles. El primero corresponde al diseño genómico de producto, sistema o planta industrial, donde se aplican y recogen las especificaciones y criterios medioambientales de la ecoindustria expuestos a lo largo de este trabajo, y con los cuales se incorporan correctamente el carácter *autopoyético*, *sistémico* y *ecocompatible* que pretende el MGE2.

Basándose en los doce principios de la química sostenible, el segundo nivel permite concebir productos y sistemas industriales con un carácter *metabolizable* (o lo que es lo mismo, con una huella ambiental asimilable por el medio), a través del diseño genómico de sustancias químicas. Gracias a este segundo nivel, el sistema industrial adquiere coherencia genética con su sistema asociado, creando los ciclos abiertos de energía y cerrados en materia que proclama C2C, evitando el uso de sustancias tóxicas y reduciendo las xenobióticas (nutrientes infrarreciclados).

### 4. Evaluación, validación y optimización global

del producto y su sistema asociado, a partir de un nuevo ACV con el que se redactará su Declaración Ambiental a efectos de certificación.

## CONCLUSIONES

La labor compleja que permite conseguir un proceso de diseño, desarrollo y fabricación de sistemas de productos o servicios industriales eointeligentes con consenso de oportunidades, se centra en la incorporación de todos los criterios, conceptos, análisis, límites y exigencias que aporta la sostenibilidad dentro de los sectores de la ecoindustria y el sector químico. Las metodologías, estrategias y técnicas de diseño y desarrollo que permiten llevar a cabo procedimientos estructurados que aporten soluciones de calidad, deben reunir aspectos sociales, económicos y ecológicos. El MGE2 es adecuado para abordar todo tipo de proyectos sostenibles desde el punto de vista de la estrategia 3E, siendo una guía para el diseño inspirado en la naturaleza y con el que pueden obtenerse soluciones de calidad basadas en metabolismos cíclicos mantenidos con energías alternativas, aportándoles ecoefectividad frente a ecoeficiencia. 

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] McDonough W, Braungart M. *Cradle to Cradle (de la cuna a la cuna): rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Madrid: McGraw-Hill/ Interamericana de España S.A.U, 2005. 186p. ISBN: 84-481-4295-0
- [2] Peralta M.E., Aguayo F., Lama JR. "Ingeniería sostenible de la cuna a la cuna: una arquitectura de referencia abierta para el diseño C2C". *DYNA Ingeniería e Industria*. Abril 2011. Vol. 86-2 p. 199-211.
- [3] McDonough W, Braungart M. "Design for the Triple Top Line: New Tools for Sustainable Commerce". *Corporate Environmental Strategy*. Vol.9-3 p.251-258.
- [4] El-Haggar S. *Sustainable industrial design and waste management. Cradle-to-Cradle for sustainable development*. Londres: Elsevier Academia Press. 2007.
- [5] Braungart M. *Cradle to Cradle an innovation platform*. [Material gráfico proyectable]. Hamburgo: 2009. 69 diapositivas.
- [6] Ball J. "Can ISO 14000 and eco-labelling turn the construction industry green?" *Building and Environment*. 2002. 37(4): 421– 428.
- [7] Aranda D. "Elementos de delimitación del sector medioambiental: ecoactividades". *Economía Industrial*. 1992. mayo-junio, pp.1-13.
- [8] Peralta M.E. *Ecodiseño de una Silla de Oficina*. Proyecto Fin de Carrera. Dirección: Aguayo F. Escuela Universitaria Politécnica, Sevilla, 2010.
- [9] Raymond H, Grabot B. "Assessing the compliance of a product with an eco-label: From standards to constraints". *Int. J. Production Economics*.37(2002) 421-428.
- [10] FEIQUE. Federación Empresarial de la Industria Química Española.
- [11]Claver E., López M.D., Molina F. "Un diagnóstico estratégico externo del sector medioambiental". *Universidad de Alicante*. Departamento de Organización de Empresas. Campus de San Vicente, Ap.99 E-03080.
- [12] Comisión Europea. *The EU Ecoindustry's Export Potential*. 1999.
- [13] Fundación Entorno. *Libro Blanco de la Gestión Medioambiental en la Industria Española*. 2001. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- [14] Anastas P, Warner J. *Green Chemistry: Theory and practice*. Estados Unidos: Oxford University Press, 2000. 152 p. ISBN: 01-985-0698-8
- [15] Heijungs R., Huppes G., Guinée J.B. "Life cycle assessment and sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a scientific framework for sustainability life cycle analysis" *Polymer Degradation and Stability*. 2010. 95 (3): 422-428.

